

Mathias Mikkonen

TEOLLISUUSROBOTIN JA YHTEISTYÖ- ROBOTIN EROT KAPPALEENKÄSITTE- LYSSÄ

Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta
Kandidaatintyö
Tammikuu 2020

TIIVISTELMÄ

Mathias Mikkonen: Teollisuusrobotin ja yhteistyörobotin erot kappaleenkäsittelyssä
(Differences between industrial robot and collaborative robot in material handling)

Kandidaatintyö

Tampereen yliopisto

Teknisten tieteiden TkK-tutkinto-ohjelma, Konetekniikka

Tammikuu 2020

Teollisuusrobotteja käytetään teollisuudessa laajalti erilaisten ihmiselle vaikeiden, raskaiden tai toisteisten työtehtävien automatisointiin. Kasvavat vaatimukset kuluttajilta esimerkiksi tuotteiden personointiin liittyen ovat asettaneet yrityksille paineita kehittää tuotantoaan. Yritykset kaipaavat tuotantojärjestelmiltä joustavuutta ja muunneltavuutta. Yhteistyörobotit työskentelevät ihmisen kanssa samassa työtilassa ja pyrkivät vastaamaan edellä kuvailtuihin haasteisiin.

Tässä kandidaatintyössä tutkittiin teollisuusrobotin ja yhteistyörobotin ominaisuuksia. Työssä pyrittiin löytämään eroja näiden robottityyppien välillä. Aineistona käytettiin pääasiassa tutkimusartikkeleita ja alan standardeja, mutta myös yritysten tarjoamia tietoja tuotteistaan hyödynnettiin markkinoilla olevien ratkaisujen tutkimiseen. Keskeisiä eroja löytyi robottien ohjelmoinnista, turvalaitteista ja käyttöliittymästä. Lopuksi näiden erojen pohjalta pohdittiin silkkipainokoneen robotisointia.

Yhteistyörobotit ovat varsin uusi ja nopeasti kehittyvä teknologian alue. Niiden kehitys jatkuu todennäköisesti tulevana vuosina nopeana. Robottien ja niiden ominaisuuksien kehittyessä myös niiden käyttöönotto teollisuudessa tulee lisääntymään ja samalla automatisoivat tehtävät monipuolistuvat.

Avainsanat: Yhteistyörobotti, Teollisuusrobotti, Automaatio

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

ALKUSANAT

Tämä kandidaatintyö on kirjoitettu Tampereen Yliopistossa. Tahdon kiittää ohjaajaani Jyrki Latokartanoa saamastani ohjauksesta ja neuvoista työhön liittyen. Työn aihe on valittu yhdessä ohjaajan kanssa.

Tampereella, 29.1.2020

Mathias Mikkonen

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. TEOLLISUUSROBOTTI	2
2.1 Käyttökohteet teollisuudessa	3
2.2 Turvallisuus	4
3. YHTEISTYÖROBOTTI	8
3.1 Kehitys teollisuusrobotista yhteistyörobotiksi	10
3.2 Turvallisuus	11
3.3 Käyttökohteet ja tulevaisuuden kehitys	14
4. SILKKIPAINOKONEEN ROBOTISOINTI	17
4.1 Käyttö	18
4.2 Jatkokäyttö ja muutokset	19
4.3 Suunnittelu	19
5. YHTEENVETO	22
LÄHTEET	23

KUVALUETTELO

Kuva 1.	<i>Fanuc ARC Mate 100id -kaarihitsausrobotti (FANUC 2019a)</i>	3
Kuva 2.	<i>Robottisolu (RobotWorx 2019)</i>	7
Kuva 3.	<i>Universal Robotsin UR5-yhteistyörobotti (Bélanger-Barrette 2016)</i>	8
Kuva 4.	<i>Robotin ja ihmisen työtilat</i>	11
Kuva 5.	<i>Auton valojen säätö robotin ja ihmisen yhteistyönä (Bauer 2019)</i>	14
Kuva 6.	<i>CoWelder-hitsaussolu tanskalaiselta Migatronicilta (Migatronic 2019)</i>	15
Kuva 7.	<i>Silkkipainokone sylinterimäisille tuotteille (Once-tech 2019)</i>	17
Kuva 8.	<i>Silkkipainosolun layout</i>	18

LYHENTEET JA MERKINNÄT

OSHA
LR Mate
UR5

Yhdysvaltain työturvallisuus- ja terveysvirasto
FANUCin teollisuusrobotti
Universal Robotsin yhteistyörobotti

1. JOHDANTO

Teollisuusrobotteja on käytetty jo usean vuosikymmenen ajan ihmiselle haastavien tai epämiellyttävien tehtävien automatisointiin. Etenkin toisteiset ja raskaat työvaiheet ovat siirtyneet laajalti robottien suoritettaviksi. Robotit pystyvät liikkumaan nopeasti ja valmistamaan suuria sarjoja tehokkaasti, lisäksi niiden ohjelmoitavuus mahdollistaa käytön erilaisissa tehtävissä. Massavalmistuksessa robottien käytöllä on pystytty parantamaan tuottavuutta ja siirtämään ihmisiä mielekkäämpiin työtehtäviin.

Kuluttajat haluavat nykyään yhä enemmän omiin tarpeisiinsa ja mieltymyksiinsä toteutettuja tuotteita massatuotteiden sijaan. Tämän seurauksena valmistavien yritysten on löydettävä tapoja pienempien eräkokojen ja joustavuuden saavuttamiseksi. Lisäksi edelleen yritetään parantaa työntekijöiden ergonomiaa ja työtehtävien mielekkyyttä. Näihin haasteisiin odotetaan vastausta yhteistyöroboteista. Yhteistyörobotit kehittyvät nopeasti, ja ne ovat tuoneet robottimarkkinoille paljon uusia yrityksiä.

Yhteistyörobotit mahdollistavat robottien ja ihmisten työskentelyn samassa työtilassa turvallisesti. Yhteistyörobotit ovat helppokäyttöisiä, ja niiden käyttö vaatii vähemmän erityisosaamista kuin vastaavien teollisuusrobottien. Helppokäyttöisyyden ja samassa tilassa työskentelyn vuoksi uusien työtehtävien automatisointi on mahdollista. Lisäksi pienten yritysten mahdollisuudet hyödyntää robotiikkaa paranevat uuden teknologian myötä.

Tässä työssä esitellään aluksi teollisuusrobottien ominaispiirteitä, turvallisuuteen liittyviä asioita ja teollisuuden käyttökohteita. Kolmannessa luvussa käsitellään yhteistyörobottien kehitystä, turvallisuusvaatimuksia ja tulevaisuuden näkymiä. Lisäksi nostetaan esille eroja yhteistyörobottien ja teollisuusrobottien välillä. Neljännessä luvussa tutkitaan silkipainokoneen robotisointia. Luvussa käsitellään, miten perinteisen teollisuusrobotin tai yhteistyörobotin valinta vaikuttaa sovelluksen toteutukseen ja millaisia etuja eri ratkaisut tuovat.

2. TEOLLISUUSROBOTTI

Teollisuusrobotilla tarkoitetaan laitetta, joka on automaattisesti ohjattu ja jota voidaan ohjelmoida uudelleen. Laitte on tarkoitettu käytettäväksi erilaisissa sovelluksissa, ja siinä on oltava vähintään kolme ohjelmoitavaa akselia. (ISO 8373 2012, s. 3)

Ensimmäisen teollisuusrobotin kehitti George Devol vuonna 1954. Se myytiin vuonna 1960 General Motorsille ja otettiin käyttöön vuonna 1961. Robottia käytettiin valukappaleiden käsittelyyn. George Devolin ja Joseph F. Engelbergerin perustama Unimation oli ensimmäinen yritys, joka valmisti robotteja. 1970-luvulla alalle tuli paljon uusia valmistajia, ja esimerkiksi vuonna 1973 KUKAn ensimmäinen robotti FAMULUS tuli markkinoille. (Soloman 2010)

Vuonna 2018 oli maailmanlaajuisesti käytössä 2,4 miljoonaa teollisuusrobottia, mikä oli 15 % enemmän kuin vuotta aiemmin. Teollisuusrobottien tarve on kasvanut paljon automatisoinnin ja teknisten innovaatioiden vuoksi vuodesta 2010 lähtien. Vuosittain asennettavien robottien määrä on lisääntynyt vuosien 2010 ja 2018 välissä. Nykyään 67 % uusista teollisuusroboteista otetaan käyttöön Aasiassa, missä kolme suurinta aluetta ovat Kiina, Etelä-Korea ja Japani. Kiina on ollut suurin teollisuusrobottien markkina vuodesta 2013. Teollisuusrobottien myyntimäärien oletetaan jatkavan kasvuaan myös tulevina vuosina. (IFR 2019)

Teollisuusrobotin ohjelmointi vaatii paljon aikaa ja erityisosaamista ohjelmoijalta, minkä vuoksi se on kallista. Monimutkaisten sovellusten ohjelmointiin voi kulua aikaa jopa kuukausia. Usein teollisuusrobotin ohjelmoinnissa käytetään käsiohjainta. Ohjaimen avulla robottia liikutetaan haluttuihin pisteisiin ja asentoihin, minkä jälkeen ne tallennetaan robotin muistiin. Tämä ohjelmointitapa on suhteellisen yksinkertainen ja laajasti käytetty, mutta ei kovinkaan intuitiivinen. (Pan et al. 2012) Käsiohjaimessa on useimmiten näyttö, josta voidaan seurata robotin ohjelmaa ja asemaa. Lisäksi ohjaimessa on näppäimiä robotin liikuttamista ja hallintaa varten.

Teollisuusrobottia voidaan ohjelmoida myös muilla tavoin. Offline-ohjelmoinnissa ohjelma luodaan etänä käyttäen hyväksi robottisolun CAD-mallia. Tällä ohjelmointitavalla pystytään ohjelmoimaan monimutkaisia tehtäviä ja saavuttamaan kustannussäästöjä suurten sarjojen tuotannossa. Haittapuolina ovat mahdollinen mallien paikkansapitämättömyys, ohjelmoinnin tarve ja suuremmat kustannukset kalliiden ohjelmistojen vuoksi. (Pan et al. 2012) Offline-ohjelmointia hyödynnettäessä tuotantoa ei tarvitse pysäyttää

esimerkiksi muutosten suunnittelun ajaksi. Kun ohjelma on kirjoitettu ja testattu etukäteen, tuotantoa voidaan jatkaa nopeasti muutosten toteutuksen jälkeen. Tämän vuoksi myös robotin käyttöaste paranee.

2.1 Käyttökohteet teollisuudessa

Teollisuusrobotteja käytetään laajalti erilaisissa valmistavan teollisuuden sovelluksissa, ja niiden avulla pyritään tehostamaan tuotantoa sekä vapauttamaan työntekijöitä esimerkiksi toisteisista työtehtävistä. Ensimmäiset robottien käyttökohteet olivat autoteollisuudessa, ja edelleen merkittävä osa uusista roboteista otetaan käyttöön autotehtaissa. Autoteollisuudessa otetaan vuosittain käyttöön 30 % uusista teollisuusroboteista (IFR 2019). Robottien laskevat hinnat ja intuitiivisemmat käyttötavat mahdollistavat robottien hyödyntämisen uusissa sovelluskohteissa.



Kuva 1. *Fanuc ARC Mate 100id -kaarihitsausrobotti (FANUC 2019a)*

Yksi yleisimmistä robottien käyttökohteista on erilaiset hitsaussovellukset. Esimerkiksi kaarihitsauksessa robotin työkaluna on hitsauspistooli, jota se liikuttaa hitsattavan työkalun mukaisesti. Sovellus on niin yleinen, että useat robottivalmistajat ovat suunnitelleet erityisesti siihen tarkoitettuja robotteja. Niille ominaisen rakenteen ansiosta hitsausrobotit mahtuvat pienempiin väleihin kuin tavalliset raskasrakenteisemmat robotit. RIAN (2017) mukaan robotit pystyvät tekemään toistuvasti korkealaatuisia ja tarkkoja hitsauksia. Lisäksi hitsausrobotit ovat nopeampia kuin ihmiset ja ne vähentävät ihmisten työssään kohtaamia vaaroja, kuten haitallisia hitsauskaasuja (RIA 2017).

Kuvassa 1 on FANUCin valmistama kaarihitsausrobotti ARC Mate 100iD. Hitsausrobo-teissa on usein ontto ranne, minkä vuoksi esimerkiksi hitsauskaapelit voidaan johtaa sen läpi. Kun kaapelit kulkevat robotin käsivarren läpi, niiden kuluminen vähenee. Kuten ku-vasta näkee, robotin muotoilusta on pyritty tekemään mahdollisimman hoikka, jotta se pystyy tekemään hitsauksia myös ahtaissa väleissä. (FANUC 2019a) Usein hitsausso-luissa on useampia robotteja, jotka tekevät yhteistyötä. Robotit pystyvät samanaikaisesti hitsaamaan yhtä työkappaletta, minkä vuoksi tuotanto nopeutuu merkittävästi.

Teollisuusrobotteja käytetään myös konepalveluun. Perinteisesti ihmiset ovat joutuneet asettamaan materiaalia koneisiin ja poistamaan niistä valmiita kappaleita. Tämä toistei-nen työ on usein epämieluisia ihmisille, minkä vuoksi se on siirtynyt useissa tapauksissa robottien hoidettavaksi. Robottien käyttö vähentää tuotannon taukoja, jolloin tuottavuus paranee. Esimerkiksi työstö- ja ruiskuvalukoneiden palvelussa robotteja käytetään pal-jon.

Konepalvelussa robotteina voidaan käyttää esimerkiksi hitsausrobotteja. Niiden hoikan rakenteen ansiosta kappaleiden asettaminen ja noutaminen mahdollisesti ahtaista ko-neista on helpompaa. Työstökoneiden jaksoajat voivat olla pitkiä, jolloin yhdellä robotilla on aikaa palvella useampaa konetta tai tehdä myös muita työvaiheita. Robotin työalu-eelle voidaan sijoittaa useampia koneita niin että robotti yltää niihin jokaiseen. Vaihtoeh-toisesti robotti voidaan asentaa lineaariakselin päälle, jolloin vielä useamman koneen palveleminen mahdollistuu.

Näiden esimerkkisovellusten lisäksi teollisuusrobotteja käytetään monien muiden työteh-tävien suorittamiseen. Autoteollisuudessa esimerkiksi pistehitsaus ja maalaus on usein robotisoitu. Myös tuotteiden pakkaus ja lavaus ovat yleisiä sovelluskohteita teollisuusro-boteille. Yleisesti ottaen etenkin toisteisia, raskaita ja vaarallisia työtehtäviä halutaan au-tomatisoida. Robottien käyttö uusissa kohteissa mahdollistuu tekniikan kehityksen ja hal-penevien robottien myötä. Etenkin intuitiivisemmän käytön ja ohjelmoinnin helppouden kehittämiseen panostetaan.

2.2 Turvallisuus

Perinteinen teollisuusrobotti on raskas ja liikkuu usein suurilla nopeuksilla, minkä vuoksi on erityisen tärkeää huolehtia työntekijöiden turvallisuudesta kaikissa tilanteissa. Teolli-suusrobotit aiheuttavat useita vaaroja sekä riskejä, kuten putoavia kappaleita, puristu-mista ja iskuja. Robotin aiheuttamien vaarojen lisäksi työntekijän turvallisuus on suuresti riippuvainen sovelluskohteesta ja ympäristötekijöistä.

Teollisuusrobottien on täytettävä Euroopan talousalueella konedirektiivin 2006/42/EY niille asettamat vaatimukset. Yhdenmukaistettuja standardeja noudattamalla valmistaja voi olettaa täyttävänsä konedirektiivin asettamat vaatimukset. Yhdenmukaistetuissa standardeissa on kuvattu tarkemmin konedirektiivin vaatimuksia. (Malm 2017, s. 8) Standardeissa on esitetty vaatimuksia ja jopa teknisiä ratkaisuja, joilla asetetut vaatimukset voidaan täyttää.

Konedirektiivissä on kuvattu terveyst- ja turvallisuusvaatimukset koneille, joihin myös teollisuusrobotit kuuluvat. Koneen tuomiseksi markkinoille on varmistuttava, että se täyttää turvallisuusvaatimukset. (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2006/42/EY)

Standardi SFS-EN ISO 10218-1 käsittelee teollisuusrobottien turvallisuusvaatimuksia ja on suunnattu etenkin teollisuusrobottien valmistajille. Seuraamalla suunnittelussaan standardia teollisuusrobotin valmistaja voi varmistua, että robotti on sen käsittelemiltä alueilta konedirektiivin vaatimusten mukainen. SFS-EN ISO 10218-2 puolestaan käsittelee robottijärjestelmiä ja on suunnattu etenkin robottisolujen valmistajille. Kansainväliset standardit SFS-EN ISO 10218-1 ja SFS-EN ISO 10218-2 ovat yhdenmukaistettuja standardeja.

Teollisuusrobottien suunnittelua, turvallisuustoimenpiteitä ja käyttöä koskevia vaatimuksia sekä ohjeita on esitetty standardin SFS-EN ISO 10218 ensimmäisessä osassa. Robotin suunnittelussa on huomioitava robotteihin liittyvät vaarat. Vaaroja ovat esimerkiksi robotin mekaanisesta rakenteesta johtuvat iskut, puristumiset ja takertumiset. Standardin liitteessä A on lueteltu yleisimmät vaarat, jotka liittyvät teollisuusrobotteihin. Valmistajan on tunnistettava mitkä vaarat liittyvät suunniteltavaan robottiin ja tehtävä tarvittavat toimenpiteet riskien pienentämiseksi. (SFS-EN ISO 10218-1 2011, s. 20,48)

Robotteihin voi liittyä muitakin kuin standardissa mainittuja vaaroja, minkä vuoksi valmistajan on suoritettava riskikartoitus. Standardissa on esitetty vaatimuksia robotin rakenteelle, ominaisuuksille ja toiminnoille. Standardin asettamat vaatimukset täyttämällä valmistaja pystyy suunnittelemaan turvallisen teollisuusrobotin. Valmistajan on myös varmistuttava turvallisuusvaatimusten täyttymisestä ja suojaustoimenpiteiden riittävydestä sekä toimitettava esimerkiksi robotin käyttöohjeet. (SFS-EN ISO 10218-1 2011)

Standardissa SFS-EN ISO 12100 esitellään toimintatapa, jolla valmistaja voi toteuttaa vaaditun riskien arvioinnin ja riskien pienentämisen. Robottijärjestelmän suunnittelijan on toteutettava seuraavat toimenpiteet:

- ” määritettävä koneen raja-arvot, joihin sisältyvät tarkoitettu käyttö sekä kohtuudella ennakoitavissa oleva väärinkäyttö

- tunnistettava vaarat ja niihin liittyvät vaaratilanteet
- arvioitava riskin suuruus kunkin tunnistetun vaaran ja vaaratilanteen osalta
- arvioitava riskin merkitys ja tehtävä päätökset riskin pienentämisen tarpeesta
- poistettava vaara tai pienennettävä vaaraan liittyvää riskiä suojaustoimenpiteiden avulla. ” (SFS-EN ISO 12100 2010, s. 28)

Toimenpiteitä riskin pienentämiseksi tai vaaran poistamiseksi on jatkettava, kunnes saavutetaan hyväksyttävä taso (SFS-EN ISO 12100 2010, s. 28). Mikäli siis ensimmäisten tehtyjen toimenpiteiden jälkeen riskit eivät ole hyväksyttävällä tasolla, on edelleen suunniteltava ratkaisuja riskien pienentämiseksi. Vaaroja ei voida usein poistaa kokonaan, jolloin on varmistuttava työntekijää suojaavien toimenpiteiden riittävydestä. Edellä kuvattua toimintatapaa voidaan käyttää myös robottisolun riskejä arvioitaessa.

Standardissa SFS-EN ISO 10218-2 käsitellään teollisuusrobottijärjestelmien turvallisuutta. Robottisolun valmistajan on suoritettava riskien arviointi järjestelmälle, jotta siitä voidaan suunnitella turvallinen. Arviointi tulee suorittaa ennen kuin valitaan toimenpiteitä työntekijöiden suojaamiseksi ja riskien vähentämiseksi. Riskejä voidaan pienentää seuraavilla teknisillä periaatteilla:

- Vaarat poistetaan suunnittelupäätöksillä tai niitä pienennetään korvaavilla toimenpiteillä.
- Ihmisen pääsy vaaran lähelle estetään kokonaan.
- Riskejä pienennetään tilanteissa, joissa puututaan koneen toimintaan. (SFS-EN ISO 10218-2 2011, s. 10)

Yleisesti vaarojen pienentämiseen käytetään edellisen listan toista kohtaa. Työntekijöiden pääsy rajoitetaan vaarallisille alueille esimerkiksi käyttämällä kiinteitä aitoja robottijärjestelmien ympärillä tai valoverhoja. Vaikka vaarat suljettaisiinkin aitojen sisäpuolelle, on usein tarpeellista käyttää muitakin toimenpiteitä työntekijöiden turvallisuuden varmistamiseksi. On yleistä, että operaattorin on mentävä robotin työtilaan, jolloin hänelle ei saa aiheutua siitä liian suurta vaaraa. Tällaisia tilanteita voivat olla esimerkiksi häiriötilanteiden selvittäminen ja robotin ohjelmointi.

Kuvassa 2 on esitettynä robottisolu. Kyseessä on robotisoitu hitsausasema, josta työntekijä käy hakemassa valmiit tuotteet pois ja asettelee uudet kappaleet robotille hitsattaviksi. Robottisolu koostuu itse teollisuusrobotista, kääntöpöydästä, suojaavista seinistä, valoverhoista ja käyttöpaneelistä. Peltiseinät estävät työntekijöitä pääsemästä liian lähelle vaaroja, kuten liikkuvaa robottia. Seinät pienentävät myös prosessin aiheuttamia vaaroja, kuten voimakasta ultraviolettisäteilyä ja hitsauksessa lentäviä kipinöitä.

Työntekijän kulkua työtilaan seurataan valoverhojen avulla. Valoverhot ovat kuvassa 2 pitkiä keltaisia koteloita. Kun työntekijä astuu valoverhojen kattamalle alueelle, pyöröpöydän sekä mahdollisesti myös robotin liikkeet estyvät. Näin työntekijän on turvallista tehdä tehtävänsä ja robotti voi jatkaa toimintaa työntekijän poistuttua alueelta. Vaihtoehtoisesti kulku voisi olla kiinteän oven kautta, mikä olisi kustannuksiltaan edullisempi ratkaisu. Valoverhoilla saavutetaan kuvan sovelluksessa ergonomisia etuja, koska työntekijän ei tarvitse kulkea kappaleiden kanssa oven kautta.



Kuva 2. Robottisolu (RobotWorx 2019)

Tässä luvussa esitettyjen keskeisten standardien lisäksi teollisuusrobottien ja robottisolujen suunnittelussa sekä valmistuksessa tarvitaan myös muita standardeja. Esitellyissä standardeissa on velvoittavia viittauksia muihin standardeihin, jotka pitää huomioida suunnittelussa. Esimerkiksi suunniteltaessa hätäpysäytystoimintoa on varmistuttava, että se on standardin ISO 13850 vaatimusten mukainen. Seuraamalla standardeja varmistutaan, että suunniteltu järjestelmä on turvallinen ja konedirektiivin vaatimusten mukainen.

3. YHTEISTYÖROBOTTI

Yhteistyörobotilla tarkoitetaan robottia, joka on suunniteltu toimimaan samassa työtilassa ihmisten kanssa aiheuttamatta heille vaaraa. Nykyään useimmat yhteistyörobotit valvovat niihin kohdistuvia voimia ja tällä tavoin mahdollistavat turvallisen yhteistyön ihmisen kanssa. Yhteistoiminnan eri mahdollisuuksista on kerrottu enemmän aluvuossa 3.2.

Nykyään kuluttajat haluavat massavalmistettujen tuotteiden sijaan personoidumpia ratkaisuja. Nämä kuluttajien kasvavat vaatimukset aiheuttavat tuotteiden valmistajille paineita siirtyä kohti pienempiä eräkokoja ja joustavampaa tuotantoa. Lisäksi yrityksillä on tarve parantaa työntekijöiden ergonomiaa. Automaatio vastaa näihin haasteisiin, mutta perinteiset teollisuusrobotit eivät sovellu tähän hyvin. Yhteistyörobotit ovat ratkaisu näihin ongelmiin. (Bloss 2016)



Kuva 3. Universal Robotsin UR5-yhteistyörobotti (Bélanger-Barrette 2016)

Kuvassa 3 on tanskalaisen Universal Robotsin valmistama UR5-yhteistyörobotti. Kuvasta huomaa, että yhteistyörobotin rakenne eroaa selvästi perinteisistä teollisuusroboista. Yhteistyörobotin moottorit on sijoitettu rungon sisäpuolelle ja rakenteessa on paljon pyöristettyjä muotoja. Tällaisella suunnittelulla vähennetään robotin aiheuttamia vaaroja, kun terävät kulmat eivät satuta työntekijää törmäyksissä. Kevyemmän rakenteen vuoksi robotin ja ihmisen väliset törmäykset eivät ole myöskään niin suurienergisiä, mikä

osaltaan lisää turvallisuutta. Yhteistyörobottien nopeuksia joudutaan usein rajoittamaan, jotta työntekijän turvallisuus ei heikkene.

Yksi merkittävä ero perinteisten teollisuusrobottien ja yhteistyörobottien välillä on niiden ympärille vaadittavan tilan suuruus. Kun solussa käytetään perinteistä robottia, se vaatii ympärilleen turva-aidat. Yhteistyörobotteja voidaan käyttää yleensä ilman turva-aitoja, jolloin tilankäyttö tehostuu, ja työntekijät voivat työskennellä lähempänä robotteja. Yritykset pyrkivät hyödyntämään käytössä olevaa tilaa mahdollisimman tehokkaasti, minkä vuoksi perinteisille teollisuusrobottisoluille voi olla vaikeampaa löytää tilaa tehtaasta.

Tällä hetkellä markkinoilla olevien yhteistyörobottien kantokyky on usein korkeintaan kymmenen kilogrammaa. Kuvassa 3 olevan UR5-yhteistyörobotin kantokyky on viisi kilogrammaa. Perinteisillä teollisuusroboteilla on mahdollista saavuttaa selvästi suuremmat kantokyvyt kuin yhteistyöroboteilla. Teollisuusrobottien kantokyky voi olla jopa yli 1000 kilogrammaa. Kun robotin kantokykyä kasvatetaan, sen aiheuttamat vaarat kasvavat. Tämä johtuu siitä, että suurempi kantokyky vaatii robotiltakin suurempaa massaa, jolloin sen turvallinen pysäyttäminen on hankalampaa. Lisäksi painavat työkappaleet ovat itsessään turvallisuusriski.

Luvussa 2 esitetään teollisuusrobotin ohjelmointitapoja. Perinteiset ohjelmointitavat vaativat käyttäjältä melko paljon erityisosaamista, minkä vuoksi pientenkin muutoksien tekeminen järjestelmiin on hidasta. Yhteistyörobottien suunnittelussa on useimmiten kiinnitetty erityistä huomiota niiden helppokäyttöisyyteen. Yleinen ohjelmointitapa yhteistyöroboteille on näyttämällä opettaminen, jossa robottia liikutellaan käsin haluttuihin pisteisiin ja käsiohjaimella annetaan muut komennot.

Yhteistyörobotin käsiohjaimessa on usein kosketusnäyttö ja graafinen käyttöliittymä, jotka helpottavat robotin käyttöä. Käsiohjain on useimmiten intuitiivisempi ja helppokäyttöisempi kuin perinteisissä teollisuusroboteissa. Yhteistyörobottia ohjelmoitaessa voidaan käyttää hyväksi sekä käsin ohjaamista että käsiohjainta. Työntekijän on intuitiivista liikutella käsin robottia haluamiinsa pisteisiin. Toisaalta joissain tilanteissa on hyödyllistä, että robotin asema voidaan määrittää tarkoilla arvoilla, jotka syötetään käyttämällä käsiohjaimen käyttöliittymää.

Intuitiiviset opetustavat ovat tärkeitä, jotta pienet yritykset pystyvät laajemmin ottamaan robotteja käyttöön. Tarvitaan yksinkertaisia tapoja robotin ohjelmointiin ja käyttämiseen. Käyttäjän mahdollisuutta tehdä virheitä on vähennettävä ja samalla lisättävä tämän tilan tietoisuutta. Uusien toimintatapojen on myös vähennettävä ohjelmointiin kuluva aikaa. (Villani et al. 2018) Pienemmissä yrityksissä ei useinkaan ole tarvittavia taitoja tai

tarpeeksi suuria eräkokoja perinteisten teollisuusrobottien käyttämiseksi. Intuiitiiviset yhteistyörobotin ohjelmointitavat mahdollistavat robotin ohjelmien luonnin ja nopean muokkaamisen myös käyttäjiltä, joilla ei ole ohjelmointitaitoa (El Zaatari et al. 2019).

Yhteistyörobotin käyttöönotto on usein yksinkertaista, koska se ei vaadi ympärilleen yhtä suuria turvajärjestelyitä ja sen ohjelmointi on nopeampaa. Näiden ominaisuuksien ja kevyen painon vuoksi robotti pystytään siirtämään paikasta toiseen. Yhteistyörobotti voi siis valmistaa pienehköjä sarjoja, ja sitä voidaan siirrellä eri työtehtävien välillä. Useat markkinoilla olevat yhteistyörobotit voidaan siirtää uuteen sovellukseen ja ohjelmoida nopeasti yhden ihmisen voimin, minkä vuoksi yhteistyöroboteihin tehtävien investointien tuotoaste (ROI) paranee (Bloss 2016).

3.1 Kehitys teollisuusrobotista yhteistyörobotiksi

Yhteistyörobottien kehitys alkoi 1990-luvulla, kun Yhdysvaltain työturvallisuus- ja terveysvirasto (OSHA) alkoi kiinnittää huomiota autoteollisuuden tehtaiden ergonomiaan liittyviin ongelmiin. Vaikea ja toisteinen työ aiheutti merkittävää raskautta työntekijöille, kun taas mekaanisilla ja automatisoiduilla ratkaisuilla olisi mahdollisesti pystytty ratkaisemaan nämä ongelmat. OSHAn vaatimusten vuoksi autoteollisuuden yritykset pyysivät apua ongelmien ratkaisuun Northwestern ja Berkeley yliopistoilta. Tämän yhteistyön seurauksena syntyivät älykkäät nostoapuvälineet. Kyseiset laitteet olivat tietokoneohjattuja ja auttoivat työntekijöitä suorittamaan työtehtäviään selvästi pienemmällä fyysisellä rasituksella. Älykkäät nostoapuvälineet olivat ensimmäisiä yhteistyörobotiikan muotoja. (RIA 2019a)

Vuonna 2006 standardissa ISO 10218-1 oli ensimmäisen kerran maininta yhteistyöroboista, mikä mahdollisti niiden käytön teollisuudessa. Standardia päivitettiin vuonna 2011 ja myös sen toinen osa ISO 10218-2 julkaistiin. Vuonna 2016 julkaistiin oma ISO/TS 15066 -ohjeistus yhteistyöroboteille. Se opastaa yhteistyörobottijärjestelmien suunnittelussa ja käytössä sekä antaa esimerkiksi raja-arvot ihmiseen kohdistettaville voimille.

Tämän hetkinen markkinajohtaja Universal Robots myi ensimmäisen yhteistyörobottinsa vuonna 2008. Yrityksen UR5 yhteistyörobotti oli ensimmäinen teollisuusrobotti, joka pystyi työskentelemään turvallisesti samassa työtilassa ihmisten kanssa. Universal Robots perustettiin vuonna 2005 kolmen Etelä-Tanskan Yliopiston tutkijan toimesta (Universal Robots 2019b).

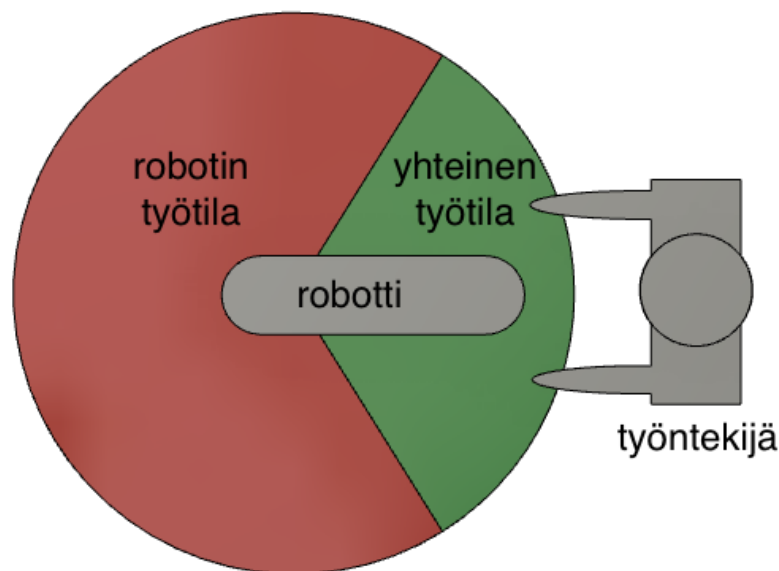
Yhteistyörobottimarkkinoille on tullut Universal Robotsin jälkeen useita kymmeniä uusia yrityksiä. Myös perinteisten teollisuusrobottien valmistajat ovat tuoneet markkinoille omia

yhteistyörobottejaan. Markkinoista ja yhteistyörobottien tulevaisuudesta on kerrottu lisää luvussa 3.3.

3.2 Turvallisuus

Kuten jo aiemmin tässä työssä on esitetty, yhteistyöroboteille tyypillistä on toiminta ihmisten kanssa samojen työtehtävien parissa. Työtilan jakaminen robotin ja ihmisen välillä aiheuttaa riskejä. Näihin riskeihin on kiinnitettävä erityistä huomiota, jotta robottien ja niitä hyödyntävien järjestelmien turvallisuus on riittävällä tasolla.

Yhteistyörobottien on täytettävä kansainvälisten standardien SFS-EN ISO 10218-1 ja SFS-EN ISO 10218-2 asettamat vaatimukset. Niitä koskevat siis samat vaatimukset kuin perinteisiä teollisuusrobotteja. Yhteistyörobottien ja niiden sovellusten suunnittelussa on kuitenkin muutamia erityispiirteitä, jotka pitää huomioida. Esimerkiksi työntekijän läsnäolo samassa työtilassa tekee robotin ympäristöstä muuttuvan ja ennalta-arvaamattoman. Robotin on pystyttävä turvalliseen toimintaan näistä muuttujista huolimatta.



Kuva 4. Robotin ja ihmisen työtilat

Yhteiseksi työtilaksi kutsutaan aluetta, jossa robotti ja ihminen voivat yhdessä työskennellä tuotannon ollessa käynnissä. (SFS-EN ISO 10218-1 2011, s. 12) Solu voidaan jakaa yhteiseen työtilaan ja robotin työtilaan (Kuva 4). Robotti voi toimia omassa työtilassaan kuten perinteinen teollisuusrobotti. Yhteisessä työtilassa on kuitenkin varmistuttava, ettei robotti aiheuta vaaraa työntekijälle.

Yhteistyörobottien mahdolliset toimintatavat ihmisten kanssa yhteisessä työtilassa on jaettu neljään luokkaan. Standardissa SFS-EN ISO 10218-1 (2011, s. 36) esitetyt toimintatavat ovat

- turvaluokiteltu valvottu pysäytys
- käsin ohjaaminen
- nopeuden ja vähimmäisetäisyyden valvonta
- tehon ja voiman rajoittaminen.

Yhteistyörobotiksi kutsutaan robottia, joka pystyy toimimaan yhteistyössä ihmisen kanssa vähintään yhdellä edellä luetelluista tavoista (SFS-EN ISO 10218-1 2011, s. 36).

Valvotulla pysäytyksellä varustettu robotti pysähtyy työntekijän tullessa yhteiseen työtilaan. Kun työntekijä poistuu työtilasta, voi robotti jatkaa toimintaansa. (SFS-EN ISO 10218-1 2011, s. 12,36) Valvottua pysäytystä voidaan käyttää, kun työntekijä käy asettamassa tai poistamassa kappaleita robotilta. Työntekijä voi myös käydä suorittamassa tarkastuksia tai vaikeasti automatisoitavia työvaiheita. (Vysocky & Novak 2016) Näiden ominaisuuksien vuoksi tämä yhteistyön muoto ei sovellu kohteisiin, joissa ihmisen on puututtava useasti prosessin kulkuun.

Käsin ohjaamisessa käyttäjä opettaa robotille haluttuja asentoja suoraan ohjaamalla robottia käsin. Tässä yhteistyömuodossa käyttäjän ei tarvitse käyttää erillistä rajapintaa kuten ohjelmointilaitetta. Robotin paino on kompensoitu moottorien avulla, jotta sen asento säilyisi, kun käyttäjä ei kohdistakaan robottiin voimia. Käyttäjä ohjaa robottia käsinohjauslaitteen avulla. Kun käyttäjä ei vaikuta robottiin laitteen avulla, valvottu pysäytys on päällä. (Villani et al. 2019) Turvallisuuden takaamiseksi robotin nopeus on alennettu ja ohjauslaitteessa on sallinta kytkin, jota pitää painaa robotin liikuttamiseksi. Käsinohjauksessa robotti voi parantaa ergonomiaa, jos sitä käytetään raskaiden kappaleiden käsittelyyn. Tällöin työntekijän tarvitsee käyttää vain vähän voimaa. (Vysocky & Novak 2016)

Kolmas yhteistyön muoto on nopeuden ja etäisyyden valvonta. Tässä tilassa robotti ja käyttäjä voivat olla samaan aikaan yhteistyötilassa. Riskien minimoimiseksi robotin on pysyttävä vähintään vaaditun suojaetäisyyden päässä käyttäjästä. Mikäli käyttäjä tulee suojaetäisyyttä lähemmäksi robottia, se pysähtyy. Yhteistyörobotin liike voi jatkua, kun työntekijä on jälleen suojaetäisyyden päässä robotista. Vaadittu turvaetäisyys riippuu robotin nopeudesta. Nopeuden pienentyessä myös pienempi etäisyys ihmisen ja robotin välillä sallitaan. Robotti voi vähentää nopeuttaan, pysähtyä tai muuttaa reittiään, jotta se pitäisi vaaditun etäisyyden käyttäjään. (ISO/TS 15066 2016, s. 10–11) Haasteena tässä yhteistyön muodossa on ihmisen ja robotin välisen etäisyyden luotettava mittaaminen.

Tehon ja voiman rajoituksessa yhteistyörobotin ja käyttäjän välillä voi tapahtua osumia. Kosketus voi olla joko tahallisesti tai tahattomasti aiheutunut. Robotin tulee olla suunniteltu tähän yhteistyötoiminnan muotoon. (ISO/TS 15066 2016, s. 15) Robotin liikettä seurataan todella tarkasti ja pienetkin eroavaisuudet ohjelmoidun ja todellisen aseman välillä voidaan havaita. Robotti voi törmäyksen jälkeen jarruttaa ja pysähtyä välittömästi. Vaihtoehtoisesti yhteistyörobotti pystyy liikkumaan alkuperäiseen liikesuuntaan nähden vastakkaiseen suuntaan. (Vysocky & Novak 2016)

Törmäyksissä robotin ja ihmisen välillä ei ihmiseen saisi kohdistua liian suuria voimia tai painetta. Näiden suureiden raja-arvot voidaan laskea hyödyntämällä ISO/TS 15066:n liitettä A. Vaatimusten täyttämiseksi voidaan käyttää erilaisia toimia, joilla törmäystilanteissa esiintyviä riskejä pienennetään. Robotin suunnittelussa voidaan vaikuttaa syntyvien paineiden suuruuteen. Esimerkiksi robotin kulmien pyöristämisellä tai pehmusteiden lisäämisellä voidaan pienentää törmäyksissä ihmiseen kohdistuvaa painetta. Ohjausteknisesti robotin luomia voimia voidaan pienentää esimerkiksi rajoittamalla robotin nopeutta tilanteissa, joissa ihmiselle voi aiheutua vaaraa. (ISO/TS 15066 2016, s. 15-18)

Tekninen ohjeistus ISO/TS 15066 antaa neuvoja koskien robotin ja ihmisen yhteistyötä niiden jakamassa työtilassa. Tällaisessa toiminnassa integroidut turvalliset ohjausjärjestelmät ja prosessisuureiden kuten nopeuden ja voiman valvonta ovat tärkeässä roolissa. Kaikkien yhteistyörobotti sovelluksien suunnittelussa on tehtävä suojaavia toimenpiteitä, jotta työntekijän turvallisuus kaikissa tilanteissa voidaan varmistaa. Riskien arviointi on välttämätöntä, jotta voidaan tunnistaa turvallisuusuhat ja arvioida niihin liittyvien riskien suuruus yhteistyörobottijärjestelmissä. Riskejä pienentäviä toimenpiteitä valitaan tehtyjen arvioiden pohjalta. (ISO/TS 15066 2016, s. 3)

Prosessista aiheutuvat vaarat on otettava huomioon tehtäessä riskienarviointia. Vaikka-kin yhteistyörobotti on suunniteltu toimimaan turvallisesti samassa työtilassa ihmisen kanssa, ei se takaa koko järjestelmän turvallisuutta. Yhteistyörobottisoluissa voi olla paljon muitakin vaaroja kuin itse robotti. Tämä onkin merkittävä ero teollisuusrobottien ja yhteistyörobottien välillä. Hull ja Minarcin (2016) esittävät esimerkin työkappaleen vaikutuksesta turvallisuuteen. Perinteistä teollisuusrobottia hyödyntävässä solussa teräväreunainen työkappale ei aiheuttaisi merkittävää vaaraa käyttäjälle. Yhteistyörobottia hyödyntävässä sovelluksessa puolestaan terävät reunat voivat aiheuttaa vaaraa. Mikäli robotti menettää kappaleen hallinnan voi teräväreunainen kappale sinkoutua käyttäjää kohti. (Hull & Minarcin 2016)

3.3 Käyttökohteet ja tulevaisuuden kehitys

Universal Robots on markkinajohtaja lähes 50 %:n osuudella yhteistyörobottimarkkinoista (Sharma 2019). Yrityksen mukaan sovelluksia, joissa yhteistyörobotteja voidaan hyödyntää, ovat esimerkiksi

- konepalvelu
- kokoonpano
- laaduntarkastus
- pakkaus
- kiillotus (Universal Robots 2019a).

Nämä ovat hyvin yleisiä sovelluksia, joita toteutetaan myös perinteisillä teollisuusroboilla. Yhteistyörobottien käytöllä voidaan kuitenkin saavuttaa merkittäviä etuja myös näissä sovelluksissa. Kuten perinteisten teollisuusrobottien kohdalla, myös yhteistyöroboteille löytyy paljon käyttökohteita autoteollisuudesta.

Audi käyttää auton runkorakenteen hitsausseamien tarkastuksessa apuna FANUCin valmistamaa A CR-7iA/L -yhteistyörobottia, johon on yhdistetty konenäkökamera. Robottin avulla voidaan tarkastaa paikkoja, jotka olisivat vaikeita tai mahdottomia tarkastettaviksi ihmiselle. Työntekijät työskentelevät yhdessä yhteistyörobotin kanssa. Tämän seurauksena työntekijöiden varmuus saamiinsa tuloksiin kasvaa, kun robotti tekee osan työtehtävistä. (FANUC 2019b)



Kuva 5. Auton valojen säätö robotin ja ihmisen yhteistyönä (Bauer 2019)

Ford puolestaan käyttää KUKAn LBR iiwa -yhteistyörobotteja auton sumuvalojen säätämiseen (Kuva 5). Tässä sovelluksessa ihminen säätää ajovaloja, kun taas robotti säätää samanaikaisesti auton sumuvaloja. Sumuvalot sijaitsevat ergonomisesti hankalassa paikassa, minkä vuoksi robottien käyttö parantaa työntekijöiden työoloja. Aiemmin tämän työtehtävän on tehnyt ihminen manuaalisesti, mutta yhteistyörobotit pystyvät tekemään tehtävän turvallisesti samassa tilassa ihmisen kanssa. (Bauer 2019) Nämä esimerkit osoittavat, että autoteollisuudella on kiinnostusta löytää uusia käyttökohteita yhteistyöroboteille.

Yleisin käyttökohde yhteistyöroboteille teollisuudessa on konepalvelu. Robottien avulla parannetaan tuottavuutta ja laatua. Yhteistyörobotit mahdollistavat nopeat muutokset tuotannossa ja lisäävät tarkkuutta. (RIA 2019b) Yhteistyörobottien nopea ohjelmointi ja sovelluksen muuttaminen mahdollistavat pienempien eräkokojen kannattavan automatisoinnin. Kuvassa 3 UR5-yhteistyörobotti palvelee koneistuskeskusta.

CoWelder-hitsaussolun (Kuva 6) avulla hitsauksen automatisointi on joustavaa. Valmiiksi CE-hyväksytty kokonaisuus mahdollistaa tuotannon nopean aloittamisen. (Migatronik 2019) Tämä tuote on hyvä esimerkki siitä, kuinka yhteistyörobottien avulla voidaan helpottaa tuotannon automatisointia. Yrityksen ei tarvitse käyttää aikaa ja resursseja suunnitteluun, koska valmistaja on varmistanut tuotteen turvallisuuden.



Kuva 6. CoWelder-hitsaussolu tanskalaiselta Migatronicalta (Migatronik 2019)

Yhteistyörobottien valmistus ja myynti on uusi ja nopeasti kehittyvä markkina. Useat tahot ennustavat markkinoiden suurta kasvua tulevaisuudessa. Sharman (2019) mukaan yhteistyörobottien markkinoiden koko oli vuonna 2016 alle 400 miljoonaa Yhdysvaltain dollaria. Hän ennustaa yhteistyörobottien myynnin olevan 7,5 miljardia dollaria vuonna 2027. ABI Research puolestaan ennustaa markkinoiden olevan 11,8 miljardia dollaria vuonna 2030. Tällä hetkellä yhteistyörobotit kattavat 5 % teollisuusrobottien markkinasta, mutta osuuden ennustetaan olevan 29 % vuonna 2030. (ABI Research 2019a)

Markkinoilla on paljon uusia yrityksiä, jotka ovat kehittäneet omia yhteistyörobotteja. Perinteisten robottien valmistajat ovat lähteneet hitaasti tälle uudelle markkinalle, mikä on avannut mahdollisuuksia pienemmille yrityksille. (Bloss 2016) Perinteiset robottivalmistajat eivät ole onnistuneet omien yhteistyörobottiensa markkinoinnissa yhtä hyvin kuin uudet yhteistyöroboteihin keskittyvät valmistajat. Tulevaisuudessa suuret valmistajat todennäköisesti parantavat asemiaan markkinoilla, kun yhteistyörobottien tilaukset kasvavat. (ABI Research 2019b) Robottivalmistajien lisäksi markkinoille on tullut uusia yrityksiä, jotka keskittyvät erilaisten tarrainten, anturien ja työkalujen kehittämiseen yhteistyöroboteille.

4. SILKKIPAINOKONEEN ROBOTISOINTI

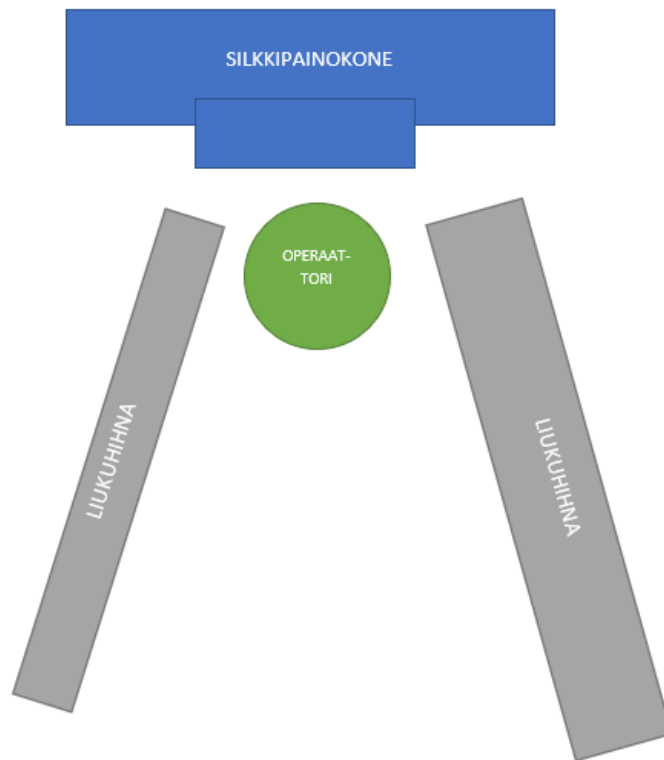
Silkkipaino on menetelmä, jossa haluttu kuvio tai logo painetaan seulakankaan läpi tuotteeseen. Seulakankaassa on halutun painojäljen mukainen alue, josta maali pääsee kankaan läpi painopinnalle eli tuotteeseen. Seulakangas on kiinnitetty raamiin, ja painoväri on kankaan päällä. Maali vedetään kankaan pintaa pitkin käyttämällä kumista lastaa. Silkkipainoa voidaan tehdä manuaalisesti, jolloin ihminen vetää kumilastaa käsin. Nykyään käytetään kuitenkin lähes poikkeuksetta silkkipainokoneita. Käytettävän koneen rakenne riippuu siitä, onko painettavan tuotteen pinta suora vai sylinterimäinen. Tässä työssä tuotteena on sylinterimäinen kappale.



Kuva 7. Silkkipainokone sylinterimäisille tuotteille (Once-tech 2019)

Sylinterimäisiä kappaleita painettaessa kumilasta eli raakkeli pysyy paikallaan. Painettava kappale pyörii ja raami liikkuu samalla nopeudella edestakaisin. Kuvassa 7 on esitetty silkkipainokone ämpäreiden ja muiden sylinterimäisten tuotteiden painamiseen. Tätä konetta käyttävä operaattori istuu painokoneen edessä. Painosolun layout selviää kuvasta 8. Operaattori asettaa aluksi painettavan tuotteen koneeseen, ja tämän jälkeen

kone käynnistetään. Kone tekee työkiertonsa, jonka aikana haluttu kuvio painetaan tuotteen pintaan. Kun tuote on valmis, operaattori nostaa sen liukuhihnalle kuivumaan.



Kuva 8. Silkkipainosolun layout

Silkkipainokoneen tahtiaika on noin kymmenen sekuntia riippuen tuotteesta sekä painettavan kuvion suuruudesta. Operaattorin työ on siis todella toisteista ja painettavat erät voivat olla useiden tuhansien kappaleiden suuruisia. Erien koko voi kuitenkin vaihdella merkittävästi. Alaluvussa 4.1 käsitellään painosolun käyttöä ja sen asettamia vaatimuksia solun toteutukselle. Soluun tehtävien muutosten mahdollisuutta ja robottien jatkokäyttöä pohditaan alaluvussa 4.2. Silkkipainosolun suunnittelua käsitellään työn viimeisessä alaluvussa 4.3.

4.1 Käyttö

Normaalissa tuotantokäytössä robotti käynnistetään, minkä jälkeen se käsittelee automaattisesti silkkipainokoneen tuotteita. Jos tuotanto siis sujuu suunnitellusti, ihmisen ei tarvitse puuttua robotin toimintaan. Operaattori kuitenkin seuraa painotyön laatua ja säätelee tarvittaessa prosessia. Vaatimuksena solulle on operaattorin pääsy painokoneen lähelle.

Käytön kannalta merkittävä vaihe on tuotannon aloittaminen uuden painotyön osalta. Mitä helpommin ja nopeammin uuden työn asetus ja säätö onnistuu, sitä kannattavampi

tuotantosolu on. Lyhyet asetusajat mahdollistavat myös pienempien erien kannattavan automatisoinnin. Tämä seikka on merkittävä etu yhteistyörobotille. Tuotteen vaihtaminen ja pienten muutosten tekeminen ohjelmaan on nopeampaa. Lisäksi koneen käyttö on helpompaa ja työntekijän ergonomia on parempi, kun robotin ympärillä ei ole turva-aitoja. Näitä etuja on käsitelty tarkemmin luvussa 3.

Häiriötilanteissa yhteistyörobotin käyttö on helpompaa etenkin käyttäjille, joilla on vähemmän kokemusta roboteista. Intuiitiivinen käyttöliittymä kosketusnäyttöineen helpottaa robotin käyttöä. Toisaalta robotin vikaantuessa tarvitaan ammattitaitoista korjaajaa.

4.2 Jatkokäyttö ja muutokset

Jos on epävarmuutta siitä, kuinka kauan solua tullaan käyttämään tai kuinka suuri käyttöaste on tiedossa, kannattaa jo suunnitteluvaiheessa varautua mahdollisiin muutoksiin. Syynä tuotannon epävarmuuteen voi olla vaikkapa tuotteiden kausittaisuus. Yhteistyörobottia voidaan kierrättää usean työpisteen välillä ja tehdä nopeita muutoksia. Tämä on mahdollista, koska yhteistyörobottia voidaan käyttää ilman erillistä suoja-aitausta. Myös yhteistyörobotin nopea ohjelmointi ja käyttöönotto helpottavat sen siirtelyä. Perinteisen teollisuusrobotin turva-aitojen ja suuremman ohjelmointityön vuoksi muutosten tekeminen järjestelmään kuluttaa enemmän aikaa ja on kalliimpaa. Jatkokäytön kannalta yhteistyörobotti on täten joustavampi vaihtoehto kuin teollisuusrobotti.

Muutoksien tekeminen tuotantosolun paikkaan ja asetteluun on helpompaa, jos käytetään yhteistyörobottia. Esimerkiksi liukuhihnojen siirtäminen on helppoa, koska solun ympärillä ei ole turva-aitoja, joita pitäisi muokata. Tällaisille muutoksille ei kuitenkaan ole tarvetta tässä sovelluksessa.

4.3 Suunnittelu

Solun suunnitteluvaiheessa asetetaan aluksi vaatimuksia sekä robotille että koko järjestelmälle. Robotin valinnassa merkittävä tieto on robotilta vaadittava ulottuvuus. Robotin täytyy pystyä ottamaan tuotteita liukuhihnalta ja asettamaan koneeseen sekä siirtämään valmiit tuotteet liukuhihnalle. Liukuhihnat voidaan asettaa robotin lähelle ja robotilta vaaditaan siis sama ulottuvuus kuin ihmisen kädeltä. Solun layoutia (Kuva 8) ei tarvitse muuttaa paljoa vaan robotti voidaan sijoittaa operaattorin paikalle. Robotilta vaadittava ulottuvuus on tällöin noin yksi metri. Sekä teollisuusrobotteja että yhteistyörobotteja on markkinoilla vaaditulla ulottuvuudella, joten tämä vaatimus ei aiheuta eroja ratkaisujen välille.

Toinen robotin valintaan vaikuttava ominaisuus on robotin kantokyky. Silkkipainettavat kappaleet, kuten muoviset pullot ja ämpärit, ovat suhteellisen kevyitä ja painavat enintään pari kilogrammaa. Sekä teollisuusrobotit että yhteistyörobotit täyttävät tämän vaatimuksen helposti, kuten luvussa 3 on esitetty.

Näiden vaatimusten pohjalta valitaan vertailtavat robotit sovellukseen. Yhteistyörobotiksi valitaan Universal Robotsin UR5-yhteistyörobotti. Pienempi UR3-malli olisi sopinut myös kantokykynsä puolesta, mutta 500 mm:n ulottuvuus on hieman liian pieni tähän sovellukseen. UR5:n kantokyky on viisi kilogrammaa ja ulottuvuus 850 mm. Teollisuusrobotiksi valitaan FANUCin valmistama LR Mate 200 id/7L -robotti. Kyseisen mallin kantokyky on seitsemän kilogrammaa ja ulottuvuus 911 mm. LR Mate 200 id/7L -robotilla on pidempi ulottuvuus kuin muilla LR Mate -malleilla, minkä vuoksi se valikoitui tähän vertailuun.

Jotta suunniteltava järjestelmä olisi turvallinen, ja se täyttäisi asetetut vaatimukset, on suoritettava riskienarviointi. Riskienarviointi on pakollinen molemmille robottityypeille, mutta siinä painotetaan eri asioita riippuen valitusta tyypistä. Yhteistyörobottien käyttäjät ovat robotin läheisyydessä myös tuotannon ollessa käynnissä, mikä on huomioitava suoritettaessa riskienarviointia.

Sovelluksessa yksi merkittävimmistä riskitekijöistä on puristumisvaara. Kun robotti asettaa kappaleita koneeseen ja liukuhihnalle, on mahdollista, että esimerkiksi ihmisen käsi jäisi puristuksiin liukuhihnan ja kappaleen väliin. UR5 pystyy pienentämään riskiä, koska se voi käyttää voiman tunnistusta. Tätä on käsitelty tarkemmin alaluvussa 3.2. LR Mate puolestaan ei pysty havaitsemaan ihmisen kättä edellä mainituissa tilanteissa. Jotta robotti ei aiheuttaisi vaaraa ihmiselle, on ihmisen pääsyä tällaisiin tilanteisiin rajoitettava. Rajoitus voidaan toteuttaa suunnittelemalla robotin työtilan ympärille turva-aita.

Liikkuva robotti voi aiheuttaa ihmiselle merkittäviä vahinkoja. Esimerkiksi robotin osumista kovalla vauhdilla ihmiseen on vältettävä. UR5:n nopeutta voidaan pienentää niissä kohdissa työkiertoa, joissa ihmiselle voisi aiheutua vaaraa. LR Mate toimii huomattavasti suuremmalla nopeudella kuin UR5, joten tämänkin riskin takia solu vaatisi turva-aidat.

Käsiteltävät työkappaleet ovat kevyitä eikä niissä ole teräviä reunoja. Työkappaleiden irtoaminen tai osuminen ei siis aiheuta merkittävää vaaraa lähellä olevalle ihmiselle. Myöskään silkkipaino itsessään ei aiheuta vaaroja solun käyttäjälle. Työntekijän hyvään ergonomiaan on kuitenkin kiinnitettävä huomiota. Koneenkäyttäjän on pystyttävä säätämään silkkipainokonetta, joten etenkin liukuhihnat on asetettava niin, että käyttäjällä on pääsy koneen läheisyyteen.

Riskejä tutkittaessa on huomattu, että merkittävin ero solun suunnittelun näkökulmasta on vaadittavat turvatoimet. Jotta solu olisi turvallinen, vaatii perinteisellä teollisuusrobotilla varustettu solu ympärilleen turva-aidat. Vaihtoehtoisesti suojauksen voisi toteuttaa käyttämällä valoverhoja ja pysäyttämällä robotin, kun ihminen tulee sen työtilaan. Tämä ei kuitenkaan ole järkevää, koska operaattorin on pystyttävä säätämään painoprosessia. Huonona puolena yhteistyörobotille on sen käyttämä pienempi nopeus verrattuna teollisuusrobottiin.

Kun solun fyysisen toteutus on suunniteltu ja valmis sekä solun turvallisuus on varmistettu, voidaan aloittaa robotin ohjelmointi. Robotin työkierto on seuraava:

- poimii liukuhihnalta painettavan tuotteen
- asettaa painettavan tuotteen koneeseen
- käynnistää silkkipainokoneen (digitaalinen lähtö)
- odottaa kunnes kone on valmis (digitaalinen tulo)
- ottaa kappaleen koneesta
- asettaa oikealla puolella olevalle liukuhihnalle
- siirtyy ohjelman alkuun

Robotin ohjelmointitavat eroavat valitun robottityypin mukaan. Lue eroista enemmän luvuista 2 ja 3.

Kokonaisuudessaan voidaan todeta, että silkkipainosolun robotisoinnissa voidaan säästää hyötyjä, jos se toteutetaan käyttämällä UR5-yhteistyörobotia. Yhteistyörobotin joustavuus ja helppokäyttöisyys ovat merkittäviä etuja etenkin, jos pieni yritys haluaa automatisoida silkkipainoaan. Lisäksi käsiteltävät kappaleet soveltuvat hyvin UR5:lle. Toisaalta automatisointi olisi mahdollista myös perinteisellä robotilla. LR Maten suuremman nopeuden ansioista pystyttäisiin lisäämään silkkipainon kannattavuutta, jos valmistettavat sarjat ovat suuria. Tässä työssä ei suunniteltu silkkipainosolun toteutusta tarkkaan, koska toteutus riippuu merkittävästi siitä, millaisia vaatimuksia yritys asettaa solulle. Työssä on nostettu esille ja pohdittu asioita, jotka vaikuttavat robotisoitua kappaleenkäsittelyä toteutettaessa.

5. YHTEENVETO

Tässä työssä tutkittiin teollisuusrobotin ja yhteistyörobotin ominaisuuksia sekä eroja. Teollisuusrobotit ovat monikäyttöisiä teollisuuden laitteita. Niiden avulla on saatu vähennettyä ihmisten fyysistä kuormitusta monissa tuotannon tehtävissä. Yritysten tuotannolta vaaditaan kuitenkin yhä enemmän joustavuutta ja helppokäyttöisyyttä. Yhteistyörobotit pystyvät työskentelemään ihmisen kanssa samassa työtilassa ja vastaavat asetettuihin vaatimuksiin. Kehittyneiden ominaisuuksien takia yhteistyörobotit eivät tarvitse ympärilleen turva-aitoja.

Yhteistyörobotit ovat rakenteeltaan kevyempiä ja turvallisempia kuin raskaat teollisuusrobotit. Pienehkön massan turvallinen pysäyttäminen on nopeampaa ja helpompaa kuin raskaiden teollisuusrobottien. Helppokäyttöisyyteen ja joustavuuteen on kiinnitetty erityistä huomiota yhteistyörobottien suunnittelussa. Esimerkkinä tästä ovat intuitiiviset käyttöliittymät ja käsinohjaus robotin ohjelmoinnissa. Nämä ominaisuudet ovat vähentäneet robotin käyttäjältä vaadittavan erityisosaamisen määrää. Perinteiset teollisuusrobotit puolestaan pystyvät siirtämään suurempia kuormia ja liikkumaan suuremmalla nopeudella kuin yhteistyörobotit. Kehittyneiden offline-ohjelmistojen avulla voidaan toteuttaa monimutkaisten työtehtävien automatisointia tehokkaasti. Perinteisillä teollisuusroboilla on tulevaisuudessakin merkittävä rooli teollisuuden automatisoinnissa.

Työssä tutkittiin myös silkkipainokoneen robotisointia. Silkkipaino on painotekniikka, jolla voidaan painaa kuvioita ja logoja tuotteiden pintaan. Silkkipainossa yhteistyörobotti on hyvä valinta sen joustavuuden ja helppokäyttöisyyden vuoksi. Yhteistyörobotin avulla asetusajat ovat lyhyempiä, jolloin myös pienempiä eriä on kannattavaa valmistaa. Varsinkin pienemmissä yrityksissä yhteistyörobotit helpottavat tuotannon automatisointia.

Yhteistyörobottien käyttö on vasta alkutekijöissä, ja robotit kehittyvät vielä nopeasti. Yhteistyörobottien myötä markkinoille on tullut paljon uusia yrityksiä eivätkä perinteiset robottivalmistajat ole lähteneet uudelle markkina-alueelle yhtä nopeasti. Teknologian kehittyessä voidaan työntekijöiden turvallisuutta takaavia toimintoja parantaa. Kun nämä suojaavat toiminnot kehittyvät, voidaan myös yhteistyörobottien nopeutta ja kantokykyä kasvattaa. Tällöin on yhä useammin kannattavaa hyödyntää yhteistyörobotteja, kun tuotantoa automatisoidaan.

LÄHTEET

ABI Research. "The Collaborative Robot Market Will Exceed US\$11 Billion by 2030, Representing 29% of the Total Industrial Robot Market", ABI Research, 13.8.2019. Saatavissa (viitattu 7.11.2019a): <https://www.abiresearch.com/press/collaborative-robot-market-will-exceed-us11-billion-2030-representing-29-total-industrial-robot-market/>

ABI Research. "Universal Robots Maintains Top Spot in ABI Research's Ranking of Cobot Companies in Industrial Applications; Doosan, Techman Robot and Precise Automation are Closing In", ABI Research, 4.9.2019. Saatavissa (viitattu 7.11.2019b): <https://www.abiresearch.com/press/universal-robots-maintains-top-spot-in-abi-researchs-ranking-of-cobot-companies-in-industrial-applications-doosan-techman-robot-and-precise-automation-are-closing-in/>

Bauer, A. (2019). "Human-robot collaboration: 3 Case Studies", Wevolver, 29.8.2019. Saatavissa (viitattu 13.11.2019): <https://www.wevolver.com/article/humanrobot.collaboration.3.case.studies>

Bélanger-Barrette, M. (2016). "Getting Started with Collaborative Robots: Machine Tending", Robotiq, 9.3.2016. Saatavissa (viitattu 30.10.2019): <https://blog.robotiq.com/getting-started-with-collaborative-robots-machine-tending-application>

Bloss, R. (2016). "Collaborative robots are rapidly providing major improvements in productivity, safety, programing ease, portability and cost while addressing many new applications", Industrial Robot: An International Journal, vol. 43, no. 5, pp. 463–468.

El Zaatari, S., Marei, M., Li, W. & Usman, Z. (2019). "Cobot programming for collaborative industrial tasks: An overview", Robotics and Autonomous Systems, vol. 116, pp. 162–180.

Fanuc. "Arc Welding Robots", verkkosivu. Saatavissa (viitattu 22.10.2019a): <https://www.fanucamerica.com/industrial-solutions/manufacturing-applications/arc-welding-robots>

Fanuc. "Audi uses FANUC collaborative robots to check welds", verkkosivu. Saatavissa (viitattu 13.11.2019b): <https://www.fanuc.eu/bg/en/customer-cases/audi>

Hull, T. & Minarcin, M.A. (2016). "Considerations in Collaborative Robot System Designs and Safeguarding", SAE International Journal of Materials and Manufacturing, vol. 9, no. 3, pp. 545–551.

IFR (2019). "Executive Summary World Robotics 2019 Industrial Robots", The International Federation of Robotics. Saatavissa (viitattu 18.10.2019): <https://ifr.org/downloads/press2018/Executive%20Summary%20WR%202019%20Industrial%20Robots.pdf>

ISO/TS 15066 (2016). "Robots and robotic devices -- Collaborative robots", the International Organization for Standardization, 33 p.

ISO 8373 (2012). "Robots and robotic devices – Vocabulary", the International Organization for Standardization, 38 p.

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2006/42/EY (2006). "Koneista ja direktiivin 95/16/EY muuttamisesta", Euroopan unionin virallinen lehti, L 157/24. Saatavissa: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32006L0042&from=FI>

Malm, T. (2017). "Guidelines to makesafe industrial robot systems", VTT, 30 p. Saatavissa: <https://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2017/VTT-R-01109-17.pdf>

Migatroniic (2019). "CoWelder", verkkosivu. Saatavissa (viitattu 20.1.2020): <https://www.migatroniic.com/en/products-and-solutions/welding-machines/cowelder/>

Once-tech (2019). "Semi-auto Bucket Screen Printing Machine", verkkosivu. Saatavissa (viitattu 14.11.2019): <https://once-tech.com/cylindrical-screen-printing-machine/bucket-screen-printing-machine/>

Pan, Z., Polden, J., Larkin, N., Van Duin, S. & Norrish, J. (2012). "Recent progress on programming methods for industrial robots", Robotics and Computer Integrated Manufacturing, vol. 28, no. 2, pp. 87–94.

RIA. "The Evolution of Robotic Welding", verkkosivu, 21.3.2017. Saatavissa (viitattu 21.10.2019): <https://www.robotics.org/blog-article.cfm/The-Evolution-of-Robotic-Welding/33>

RIA. "A Brief History of Collaborative Robots", verkkosivu, 26.2.2019. Saatavissa (viitattu 17.11.2019a): <https://www.robotics.org/blog-article.cfm/A-Brief-History-of-Collaborative-Robots/142>

RIA. "Cobot Machine Tending Delivers Higher Output and Lower Operating Costs", verkkosivu. Saatavissa (viitattu 7.11.2019b): <https://www.robotics.org/collaborative-robots/machine-tending>

RobotWorx (2019). "Curtains of light and other safety devices for robotic workcells", verkkosivu. Saatavissa (viitattu 28.10.2019): <https://www.robots.com/articles/curtains-of-light-and-other-safety-devices-for-robotic-workcells>

SFS-EN ISO 10218-1 (2011). "Robotit ja robotiikkalaitteet. Turvallisuusvaatimukset. Osa 1: Teollisuusrobotit", Suomen standardoimisliitto, Helsinki, 90 s.

SFS-EN ISO 10218-2 (2011). "Robotit ja robotiikkalaitteet. Turvallisuusvaatimukset. Osa 2: Robottijärjestelmät ja niiden yhdistelmät", Suomen standardoimisliitto, Helsinki, 155 s.

SFS-EN ISO 12100 (2010). "Koneturvallisuus. Yleiset suunnitteluperiaatteet, riskin arviointi ja riskin pienentäminen", Suomen standardoimisliitto, Helsinki, 186 s.

Sharma, A. "The Future of Collaborative Robots", Interact analysis. Saatavissa (viitattu 7.11.2019): <https://www.interactanalysis.com/collaborative-robots/>

Soloman, S. (2010). "Sensors and control systems in manufacturing", E-book, 2nd edn, McGraw-Hill, New York.

Universal Robots (2019a). "Collaborative robot applications", verkkosivu. Saatavissa (lainattu 17.11.2019): <https://www.universal-robots.com/applications/>

Universal Robots (2019b). "How Universal Robots sold the first cobot", verkkosivu. Saatavissa (lainattu 17.11.2019): <https://www.universal-robots.com/about-universal-robots/news-centre/the-history-behind-collaborative-robots-cobots/>

Villani, V., Pini, F., Leali, F. & Secchi, C. (2018). "Survey on human–robot collaboration in industrial settings: Safety, intuitive interfaces and applications", *Mechatronics*, vol. 55, pp. 248–266.

Vysocky, A. & Novak, P. (2016). "Human - Robot collaboration in industry", *MM Science Journal*, vol. 2016-, no. 2, pp. 903–906.